

下腿三頭筋の収縮による女子の ふくらはぎの形態変化に関する研究

A Study on the Change of the Shape
of the Calf of Females
by Contraction of Triceps Surae Muscle

太 田 誠 耕*
Seikou Ohta

(1987. 7. 14 受理)

Abstract

The purpose of this study was to clear the change of the shape of the calf by contraction of triceps surae muscle. For the female university students, with the aid of moiré topography, it was taken some anthropometrical measurements of the shape of the calf at the time of passive contraction and at the time of active contraction.

The result is as follows:

- 1) The calf girth increased with contraction of triceps surae muscle.
- 2) The ankle girth decreased at the time of passive contraction, and it increased at the time of active contraction on the contrary.
- 3) The position of the most projected point of the calf moved upward with contraction of triceps surae muscle.
- 4) Though the muscle venter swelled with contraction of triceps surae muscle, the quantity of projection of the calf decreased relatively.

1. はじめに

後下腿部、いわゆるふくらはぎのふくらみは主に下腿三頭筋からなっている。下腿三頭筋は腓腹筋とヒラメ筋からなり収縮すると足関節を底屈させる機能を持つ。日常生活ではつま先立ちをしたときにふくらはぎがふくらむことで観察できる。

筋の収縮の状態を示す方法としては各種の筋力測定を行うことで力量としてとらえるもの、あるいは筋電図を用いて電気信号としてとらえるものなどがある。しかし、筋の収縮の状態を形態学的に分析した研究は、白木ら¹⁾²⁾がモアレ法により大腿部の筋の形態と筋力や各種生体計測値との関係について明らかにしたものや大腿前面の筋と殿部の筋の等尺性収縮による変化について明らかにしたものがあるくらいである。

ふくらはぎがふくらむこと、すなわち下腿三頭筋の収縮についてしかも等張性収縮時の変化について形態学的に観察した研究は見あたらない。

そこで、本研究では下腿三頭筋を能動的に収縮させた場合と受動的に収縮させた場合のふくらはぎの形態がどのように変化するかをモアレ縞計測法を利用して観察し、筋収縮と体表形状の関係を明らかにしようとするものである。

*弘前大学教育学部養護学科教室

Department of School Health Science, Faculty of Education, Hirosaki University

2. 方 法

(1) 対象

被験者は、本学に在籍する身体に異常の認められない19歳から21歳の女子大学生16名であった。これらの被験者は平均身長155.5cm，平均体重49.7kg，平均ローレル指数132.4で，標準的な体型体格であった。対象はこれらの被験者の両脚で合計32であった。

(2) モアレ写真撮影装置

本研究のために格子照射型のモアレ写真撮影装置を製作し，暗室に設置した。

装置の格子間隔は2mm，格子全体の大きさは100mm×150mmであった。また，光源には650Wのハロゲンランプ2個を使用した。格子からカメラまでの距離は2,300mm，カメラから光源までの距離は922mmであった(図1)。これは，被験者の下腿後面に投影されるモアレ縞の等高間隔を5mmに設定したものである。

撮影に使用したカメラはMINOLTA NewX-700で，レンズは50mm，1:1.4で，シャッター速度は1/30秒，絞りは5.6の条件で撮影した。使用したフィルムはネオパン400でASA800となるようにバンドールで増感現像した。

(3) モアレ写真の撮影

被験者を短パン，素足にさせ，あらかじめ両側の外果点および両外側の脛骨点にマークを貼付した後にモアレ写真撮影装置の格子に対して背面を向けて足を平行にして直立させてモアレ写真を撮影した(図2)。

撮影の条件は安静立位と，下腿三頭筋の能動的収縮条件として軽いつま先立ち，大きなつま先立ち，およ

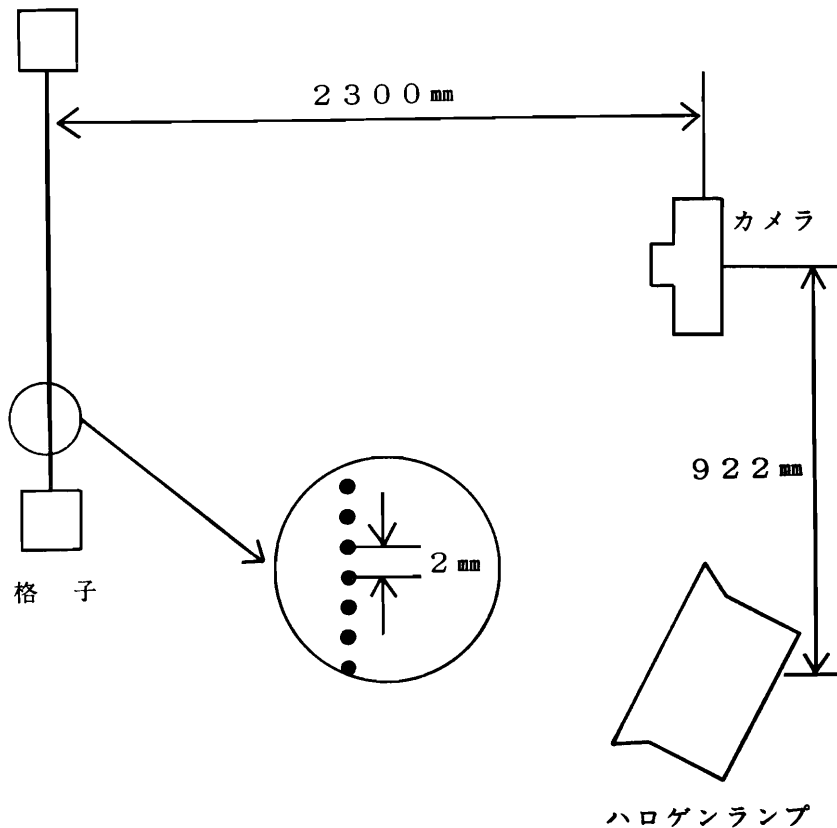
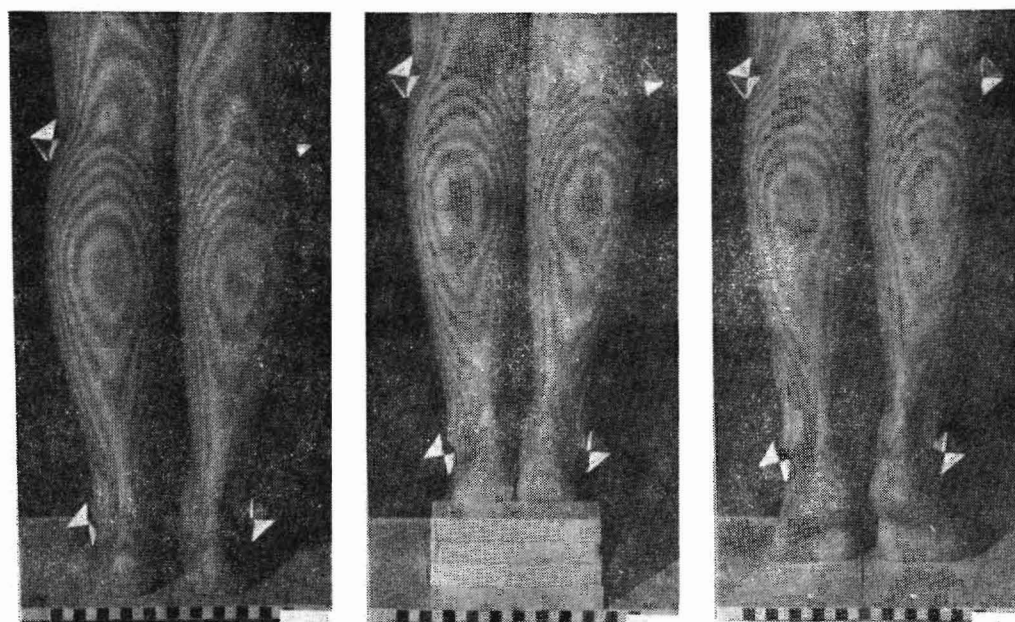


図1. モアレ写真撮影装置の配置 (平面図)



安静立位

ヒール高 8 cm

大きなつま先立ち

図2. モアレ写真の例

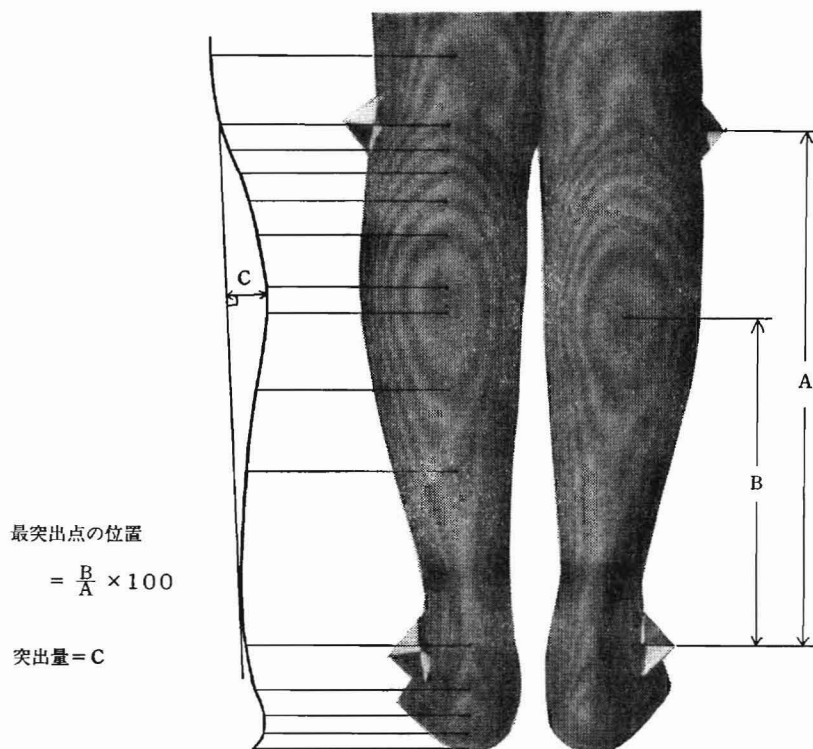


図3. 側面図再現方法と計測箇所

び下腿三頭筋の受動的収縮条件として2 cmの台にかかとを乗せた状態, 4 cmの台にかかとを乗せた状態, 6 cmの台にかかとを乗せた状態, 8 cmの台にかかとを乗せた状態(以下“ヒール高”で表す)の7条件であった。

かかとを乗せる台は縦8 cm, 横15 cm, 高さ2 cmの木製で土踏まずのあたる部分は斜めに削っておいた。これを条件毎に1枚から4枚重ねて使用した。

(4) 計測と分析

被験者に対して, モアレ写真撮影時の7条件下における下腿最大囲, 下腿最小囲を計測した。

撮影したモアレ写真はプロジェクターで方眼紙上に縮尺1/2で投影し, 下腿後面のモアレ縞とマークを写し取り, マークを基準とした最突出点の位置を計測した。さらにモアレ縞の等高間隔が5 mmであることを利用し下腿後面の側面図を方眼紙上に再現し, 突出量を計測した(図3)。

最突出点の位置は前述の二つのマークの垂直距離に対する外果点のマークから最突出点までの垂直距離の割合で表した。また, 突出量は下腿後面の側面図上の外側の脛骨点のマークから足首の部分の弧線に引いた接線を基準として, ふくらはぎ部の弧線までの最大距離で表した。

下腿最大囲, 下腿最小囲, 最突出点の位置, 突出量のいずれの測度も安静立位時を0として下腿三頭筋の収縮時の変化量を算出し, ヒール高およびつま先立ちの高さとの関係について分析した。

計測とモアレ写真の撮影は昭和61年12月中に実施した。

3. 結 果

(1) 下腿三頭筋の受動的収縮時のふくらはぎの形態の変化

図4は, 下腿三頭筋の受動的収縮時における下腿最大囲の変化を被験者全員の平均値をもとにして示したものである。下腿最大囲は安静立位時を基準にしてヒール高が2 cmでは1.31 mm, ヒール高が4 cmでは1.81 mm, ヒール高が6 cmでは2.97 mm, ヒール高が8 cmでは4.16 mmとヒールの高さが増加するに従ってその値を大きくしている(表1)。

図5は, 下腿三頭筋の受動的収縮時の下腿最小囲の変化の被験者全員の平均値を示したものである。下腿最小囲は安静立位時を基準にしてヒール高が2 cmでは-0.59 mm, ヒール高が4 cmでは-0.59 mm, ヒール高が6 cmでは-1.22 mm, ヒール高が8 cmでは-2.00 mmとヒールの高さが増加するに従って下腿最大囲とは逆にその値を小さくしている。

図6は, 下腿三頭筋の受動的収縮時の最突出点の位置の割合の変化の被験者全員の平均値を示したものである。最突出点の位置は安静立位時を基準にしてヒール高が2 cmでは1.58%, ヒール高が4 cmでは2.45%, ヒール高が6 cmでは3.71%, ヒール高が8 cmでは3.75%とヒールの高さが増加するに従ってその割合を増し, 最突出点の位置は上方に移動している。

図7は, 下腿三頭筋の受動的収縮時におけるふくらはぎの突出量の変化を被験者全員の平均値をもとにして示したものである。突出量は安静立位時を基準にしてヒール高が2 cmでは-0.38 mm, ヒール高が4 cmでは

表1. 下腿三頭筋収縮時の各測定値の平均と標準偏差 (N=32)

下腿三頭筋の 収 縮 条 件	下 腿 最 大 囲 $\bar{X}(S.D.)\{mm\}$	下 腿 最 小 囲 $\bar{X}(S.D.)\{mm\}$	最突出点位置 $\bar{X}(S.D.)\{\%\}$	突 出 量 $\bar{X}(S.D.)\{mm\}$
安 静 立 位	0	0	0	0
ヒ ー ル 高 2 cm	1.31 (0.89)	-0.59 (1.52)	1.58 (1.93)	-0.38 (0.75)
ヒ ー ル 高 4 cm	1.81 (1.33)	-0.59 (1.56)	2.45 (2.83)	-1.00 (0.64)
ヒ ー ル 高 6 cm	2.97 (1.64)	-1.22 (1.88)	3.71 (2.45)	-1.31 (0.85)
ヒ ー ル 高 8 cm	4.16 (1.71)	-2.00 (2.11)	3.75 (2.82)	-0.78 (1.13)
軽いつま先立ち	0.41 (1.48)	-1.25 (2.53)	-1.86 (2.67)	-1.22 (0.75)
大きなつま先立ち	4.16 (2.27)	0.34 (2.88)	2.27 (3.15)	-1.00 (1.21)

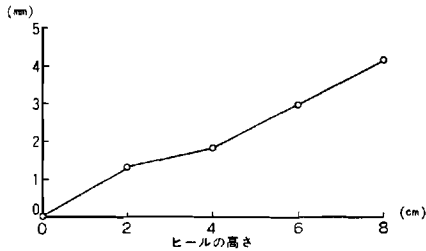


図4. 下腿最大囲の変化

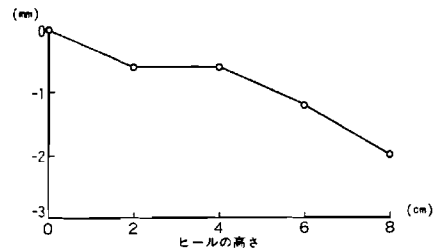


図5. 下腿最小囲の変化

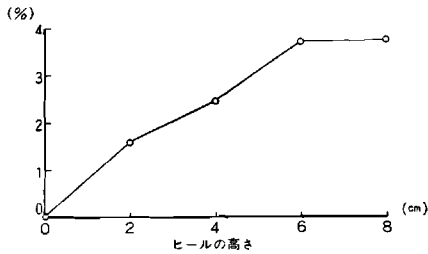


図6. 最突出点位置の変化

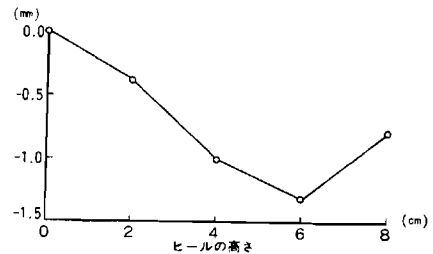


図7. 突出量の変化

-1.00mm, ヒール高が6cmでは-1.31mm, ヒール高が8cmでは-0.78mmという変化を示し, ヒールの高さが6cmまでは増加するに従ってその値を小さくしている。

(2) 下腿三頭筋の能動的収縮時のふくらはぎの形態の変化

下腿三頭筋の能動的収縮での下腿最大囲は安静立位を基準にして, 軽いつま先立ちでは0.41mm, 大きなつま先立ちでは4.16mmと受動的収縮時と同様につま先立ちの大きさに従って値を大きくしていた(表1)。

また, 下腿最小囲は軽いつま先立ちでは安静立位を基準にして-1.25mmと値を小さくしたものの大きなつま先立ちでは0.34mmと受動的収縮時とは逆に値を大きくしていた。

また, 最突出点の位置は安静立位を基準にして軽いつま先立ちでは-1.86%, 大きなつま先立ちでは2.27%とここでも受動的収縮時とは違った変化を示した。

また, ふくらはぎの突出量は安静立位を基準にして軽いつま先立ちでは-1.22mm, 大きなつま先立ちでは-1.00mmと受動的収縮時と同様に値を小さくする傾向を示した。

(3) ヒール高およびつま先立ちの大きさと各測定項目との相関関係

ヒール高と下腿最大囲, 下腿最小囲, 最突出点の位置, 突出量の変化量との間の相関関係を全被験脚についてみるとそれぞれ $r=0.745$ ($P<0.001$), $r=-0.363$ ($P<0.001$), $r=0.515$ ($P<0.001$), $r=-0.230$ ($P<0.05$) であり, ヒール高が高くなればなるほど下腿最大囲は大きくなり, 下腿最小囲は小さくなり, 最突出点の位置は高くなり, 突出量は少なくなる傾向を示している(表2)。

軽いつま先立ち, 大きなつま先立ちを便宜的に1, 2という数字に置き換えて下腿最大囲, 下腿最小囲, 最突出点高の位置, 突出量の変化量との間の相関関係を全被験脚についてみるとそれぞれ $r=0.700$ ($P<0.001$), $r=0.718$ ($P<0.001$), $r=0.320$ ($P<0.01$), $r=0.239$ ($P<0.05$) であり, つま先立ちの高さが大きくなると下腿最大囲, 下腿最小囲, 最突出点の位置, 突出量はいずれも大きくなる傾向を示している(表3)。

被験者16名を個別にみる(表2, 表3)と下腿最大囲は受動的収縮ではほとんどのものが有意な正の相関を示し, 能動的収縮では10名が有意な正の相関を示している。

下腿最小囲は受動的収縮では13名が負の相関を示し, その内5名が有意な相関を示しているが, 能動的収縮では逆に正の相関を示したものが11名で, その内有意なものが3名であったが, 1名が有意な負の相関を示している。

最突出点の位置は受動的収縮では11名が有意な正の相関を示し, 能動的収縮では2名が有意な正の相関を

示しているが、3名が負の相関を示している。

突出量は受動的収縮では12名が負の相関を示し、その内5名が有意であるが逆に1名が有意な正の相関を示している。能動的収縮でも10名が負の相関を示し、4名が有意であった。

表2. ヒール高と各測定項目との相関関係

被 験 者	下 腿 最 大 囲	下 腿 最 小 囲	最突出点の位置	突 出 量
S 1	.749*	-.707*	.674*	-.091
S 2	.834**	-.526	.073	-.288
S 3	.964***	-.792**	.887***	.707*
S 4	.787**	-.614	.939***	-.396
S 5	.788**	-.825**	.755*	-.880***
S 6	.909***	-.409	.182	-.883***
S 7	.555	-.553	.831**	-.406
S 8	.871**	-.665*	.478	-.759*
S 9	.843**	-.457	.866**	.590
S 10	.839**	-.674*	.963***	.000
S 11	.971***	.000	.246	-.074
S 12	.888***	.492	.730*	.435
S 13	.841**	-.565	.259	-.217
S 14	.880***	-.617	.946***	-.815**
S 15	.883***	.393	.832**	-.086
S 16	.960***	.000	.880***	-.700*
All Sub.	.745***	-.363***	.515***	-.230*

S 1 ~ S 16 : N = 10 All sub. : N = 160 * : $P < 0.05$ ** : $P < 0.01$ *** : $P < 0.001$

表3. つま先立ちの高さと各測定項目との相関関係

被 験 者	下 腿 最 大 囲	下 腿 最 小 囲	最突出点の位置	突 出 量
S 1	.891*	.866*	.638	.648
S 2	.796	.801	.766	.730
S 3	.956**	-.866*	.437	.547
S 4	-.204	-.722	.760	-.691
S 5	.898*	-.433	-.536	-.762
S 6	.876*	-.125	-.515	-.909*
S 7	.841*	.596	.554	-.818*
S 8	.801	-.433	-.191	-.730
S 9	.644	.000	.465	-.288
S 10	.682	.594	.938**	.759
S 11	.872*	.909*	.325	.000
S 12	.866*	.654	.786	.127
S 13	.709	.670	.056	-.297
S 14	.841*	.883*	.776	-.911*
S 15	.958**	.433	.823*	-.182
S 16	.867*	.801	.631	-.956**
All Sub.	.700***	.718***	.320**	.239*

S 1 ~ S 16 : N = 10 All sub. : N = 160 * : $P < 0.05$ ** : $P < 0.01$ *** : $P < 0.001$

4. 考 察

筋の収縮の滑走説によれば、筋の筋節には大小2種の筋フィラメントがあり、収縮のときにはこれらのフィラメントは長さは一定のまま細いフィラメントが太いフィラメントに対して滑走し、その間に入り込むことによって筋全体としては短縮していく³⁾。この説から考えると筋節が収縮するときには太いフィラメントと細いフィラメントが重なり合うことによって当然その太さを増すものと考えられる。

したがって、本研究で下腿最大囲がヒール高が増すに伴って、またつま先立ちの大きさに伴って増加したのは当然のことと考えられるが、突出量がヒール高が増すに伴って必ずしも増加せず、むしろ減少しているのは下腿三頭筋が太さを増すときに体の矢状方向すなわち前後に増すのではなく、前頭方向すなわち左右に太さを増すからだと考えられる。これは筋が強靱な筋膜に覆われており、筋が収縮するときにはその膨らむ方向を規制しているものと考えられる。また、つま先立ちの場合では特にアキレス腱が張力を増すことによって矢状方向に張り出し相対的にふくらはぎの突出量は減少するものと考えられる。

一方、下腿最小囲がヒール高に伴って減少する傾向を示すのは足関節が底屈させられる度合に伴って踵骨の下腿三頭筋の停止部が下腿の中心部に近付くためと考えられるが、つま先立ちの場合で下腿最小囲が逆に増加する傾向を示すのは突出量が減少するのと同様にアキレス腱が張力を増し後方に張り出すことによるものと考えられる。

筋が収縮すると筋はその長さを減少させ筋腹の膨らみを移動させる。白木らによると²⁾股関節で等尺性の屈曲動作をさせると大腿前面での最突出点は安静時に比較して下方に移動することが認められている。また、股関節で等尺性の伸展動作をさせると殿部での最突出点は安静時に比較して上方に移動することが認められている。

本研究でのふくらはぎの最突出点の位置はヒール高やつま先立ちの大きさに伴って近位つまり上方に移動していたが、これは下腿三頭筋の収縮要素である筋腹が近位に存在し、遠位では弾性要素である腱が大きく存在するからだと考えられる。白木らの研究で²⁾大腿四頭筋の大腿直筋や大殿筋を考えると、これらの筋の筋腹が収縮した時に移動する方向により大きく存在すると考えられるので、筋が収縮したときにその筋腹の存在が起始と停止の間でより近い方に移動するものと考えられる。

人が直立姿勢を保とうとするときには、かなりの動揺を伴い、バランスをとるために多くの筋の参加と調節が必要である。特に下腿三頭筋は他の筋に比べて負担が大きくつま先立ちでは顕著であることが岡田によって明らかにされている。⁴⁾したがって、バランスをとるときの下腿三頭筋の活動の程度によりアキレス腱の張力は大きな影響を受ける。

本研究でのモアレ写真の撮影は身体が動揺しているうちの一つの瞬間をとらえたもので重心がどの様な位置にあり、下腿三頭筋の活動がどの程度であったかは不明である。個別にみた突出量等での相関関係で正の相関を示したものと負の相関を示したものがいるのは直立姿勢を保つときの下腿三頭筋の活動状態の違いによりアキレス腱の張力に影響を受けたものと考えられる。

5. ま と め

下腿三頭筋を等張性収縮させたときのふくらはぎの形態の変化を明らかにするために、女子大学生を対象に、モアレ縞計測法を利用し、受動的収縮時と能動的収縮時における、ふくらはぎの形態の計測を行った。

その結果以下のことが明らかになった。

- ① 下腿最大囲は、等張性収縮の度合が強くなるに従って大きくなる。
- ② 下腿最小囲は受動的収縮時には小さくなり、能動的収縮時には逆に大きくなる傾向を示した。
- ③ ふくらはぎの最突出点の位置は、等張性収縮の度合が強くなるに従って上方に移動する。
- ④ ふくらはぎの突出量は、等張性収縮の度合が強くなるに従って筋腹が膨らむにもかかわらず相対的に減少する傾向が認められた。

今回の研究での被験者は女子だけであったが、今後は男子についての資料を集めるとともに、筋力や利き足等とふくらはぎの形態変化との関係について明らかにしていく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 白木, 西島, 太田, 植竹, 高橋: モアレ法による下肢筋の分析, 第7回モアレ研究会抄録集, p.16, 1981.
- 2) 白木, 高橋, 岡田, 植竹: 筋収縮による体表形状への影響のモアレ法による分析, 第8回モアレ研究会抄録集, p.37, 1982.
- 3) 真島英信: 生理学, p.46, 文光堂, 1976.
- 4) 岡田守形: 姿勢保持における筋負担, 姿勢シンポジウム論文集, p.25, 1971.
- 5) 鈴木正根, 鈴木喜義: モアレトポグラフィ計測法, 写真工業増刊写真技術マニュアル下, p.259, 1977.
- 6) 藤田恒太郎: 人体解剖学, pp.101~156, 南江堂, 1976.